

СЕКЦІЯ 6. ЗАСОБИ ВИМІРЮВАЛЬНОЇ ТЕХНІКИ В ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИЦІ

ОЦІНКА ПОХИБОК ЦИФРОВИХ ВИМІРЮВАЧІВ КОЕФІЦІЄНТУ НЕСИНУСОЇДАЛЬНОСТІ

Воропай В.Г., Пінчук В.А.

*Харківський національний університет міського господарства
імені О.М. Бекетова вул. Революції, 12, м. Харків, Україна, 61000*

Широке впровадження мікропроцесорів у вимірну техніку, а отже, і пов'язане з ним якісне поліпшення технічних характеристик вимірних засобів багато в чому стримується, з одного боку, недостатньою увагою фахівців до розробки алгоритмів цифрової обробки сигналів, що забезпечують найбільшу ефективність використання мікропроцесорів, та з іншої сторони, відсутністю інженерних методів оцінки похибок таких мікропроцесорних засобів вимірювань. Серед найважливіших параметрів оцінки якості електричної енергії енергетичних систем є коефіцієнт нелінійних викривлень або коефіцієнт несинусоїдальності. Найчастіше виявляється необхідним проводити вимірювання цих параметрів, невеликих за значенням. Тому з'являється потреба у визначенні кількісних характеристик похибок вимірювань для мікропроцесорних вимірювачів, які мають ряд істотних недоліків.

Розглянемо різні алгоритми цифрової обробки досліджуваного сигналу $u(t)$ стосовно до вимірювання коефіцієнта гармонік і оцінку похибок мікропроцесорних вимірювачів нелінійних викривлень.

Нелінійні викривлення періодичного несинусоїдального сигналу $u(t)$ характеризуються коефіцієнтом гармонік

$$k_{\Gamma} = U_{\text{B}} / U_1, \quad (1)$$

де U_1 – середнє квадратичне значення (СКЗ) першої гармоніки сигналу $u(t)$;

U_{B} – СКЗ вищих гармонік сигналу $u(t)$, обумовлене одним з виразів:

$$U_{\text{B}} = \sqrt{\sum_{v=2}^{\infty} U_v^2} \quad (2)$$

або

$$U_{\text{B}} = \sqrt{U^2 - U_1^2}; \quad (3)$$

U_v – СКЗ v -й гармоніки сигналу $u(t)$, починаючи із другій.

Величини U^2 і U_v^2 (у тому числі U_1^2 при $v=1$) можна знайти по кодах миттєвих значень сигналу u_q :

$$U^2 = \frac{1}{n} \sum_{q=1}^n u_q^2; \quad (4)$$

$$U_v^2 = \frac{U_{vx}^2 + U_{vy}^2}{2}, \quad v=1,2,\dots, \quad (5)$$

$$\text{де } U_{vx} = \frac{2}{n} \sum_{q=1}^n u_q \sin v\omega t_q; \quad U_{vy} = \frac{2}{n} \sum_{q=1}^n u_q \cos v\omega t_q \quad (6)$$

– коефіцієнти Фур'є амплітуди v -й гармоніки сигналу $u(t)$.

Різні варіанти безпосередньої реалізації формули (1) з урахуванням виразів (2)-(6) мають обмеження по точності вимірювань через похибки округлення проміжних результатів, оскільки всі обчислювальні операції (зведення у квадрат, підсумовування, добування квадратного кореня, ділення) проводяться з великими величинами, або потрібне значне підвищення розрядності МП, що знижує економічну ефективність і метрологічну надійність приладу. Більш раціональні алгоритми одержимо, якщо СКЗ U_B представимо у вигляді:

$$U_B = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{q=1}^n [u_q - U_{1\max} \sin(\omega t_q + \psi_1)]^2}, \quad (7)$$

де $U_{1\max}$, ψ_1 – амплітуда й початкова фаза першої гармоніки сигналу $u(t)$.

Співвідношення (7) дозволяє перейти до наступних двох еквівалентних форм запису:

$$U_\epsilon = U_1 \sqrt{\frac{2}{n} \sum_{q=1}^n \left[\frac{u_q}{U_{1\max}} - \sin(\omega t_q + \psi_1) \right]^2}; \quad (8)$$

$$U_B = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{q=1}^n (u_q - U_{1x} \sin \omega t_q - U_{1y} \cos \omega t_q)^2}. \quad (9)$$

Тоді вираз (1) з урахуванням рівності (8) приймає вигляд

$$k_r = \sqrt{\frac{2}{n} \sum_{q=1}^n \left[\frac{u_q}{U_{1\max}} - \sin(\omega t_q + \psi_1) \right]^2}, \quad (10)$$

а з урахуванням рівності (9)

$$k_r = \frac{1}{U_1} \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{q=1}^n (u_q - U_{1x} \sin \omega t_q - U_{1y} \cos \omega t_q)^2}. \quad (11)$$

Вирази (10) і (11) обумовлюють алгоритми цифрової обробки кодів u_q , записаних в ОЗП МП, на другому, обчислювальному, етапі роботи приладу та забезпечують наступні переваги вимірювачів нелінійних викривлень: більш високу точність, оскільки всі операції проводяться з малою різницею двох близьких величин $u_q/U_{1\max}$ і $\sin(\omega t_q + \psi_1)$, що веде також до зменшення розрядності МП; підвищення метрологічної надійності й зменшення часу вимірювання через скорочення (у два-три рази) операцій зведення у квадрат і добування квадратного кореня.